

**DEVICE FOR RECORDING LARGE-SIZE HOLOGRAMS**

Patent Number: RU2082994

Publication date: 1997-06-27

Inventor(s): TYUTCHEV MIKHAIL V (SU); PAVLOV ALEKSANDR P (SU); KALYASHOV  
EVGENIJ V (SU)

Applicant(s):: NII KOMPLEKSNYKH ISPYTANIJ OPT (SU)

Requested Patent: RU2082994

Application  
Number: RU19940036622 19940920

Priority Number(s): RU19940036622 19940920

IPC Classification: G03H1/04

EC Classification:

Equivalents:

## DEVICE FOR RECORDING LARGE-SIZE HOLOGRAMS

A device for recording large-size holograms includes a source of coherent light, a holographic interferometer the reference and object arms of which are optically coupled to a registering medium deposited on a photographic plate. The device includes a light detector unit and controlling signals forming means made in the form of two channels. Each of the channels has a lens mounted between the light detector and the registering medium. The lens of a first channel is placed behind a first region of the recording medium and the lens of the second channel is placed behind a second region of the recording medium, which second region does not overlap the first one. The device further comprises a comparator, an electronic switch and a phase shifter. The controlling signals forming means of the first and second channels are each additionally provided with a lock-in amplifier.

... The device shown in Fig.1 comprises a source 1 of coherent light; a semi-transparent mirror 2; non-transparent mirrors 3, 4 and 5, one of these mirrors, mirror 3, being mounted on a magnetostrictive element and constituting a first phase shifter, mirrors 4 and 5 being mounted on piezoelectric elements and constituting second and third phase shifters, respectively; lenses 6 for forming reference and object light beams of a desired shape; a sinusoidal signal generator 7; a recording medium 8; lenses 9 for focusing light on light detectors 10; a control signal generator unit 11; a comparator 12; and an electronic switch 13.

...

The interference field appearing as a result of interference between the reference and object light beams is recorded on the photographic plate in the form of a primary holographic pattern. Because of self-diffraction, the reference and object light beams passed through the recording medium contain information about the primary holographic pattern and about random shifts of this pattern with respect to the interference field. For reading this information the lenses 9 focusing light on the light detectors 10 are installed behind the photographic plate ...



(19) RU (11) 2082994 (13) C1  
(51) 6 G 03 H 1/04

**(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

(21) 94036622/25

**(22) 20.09.94**

(46) 27.0697

(71) Научно-исследовательский институт комплексных испытаний оптико-электронных приборов и систем ВНИИ "ГОИ им. С. И. Вавилова"

(72) Тютчев М. В., Павлов А. П., Каляшов Е. В.

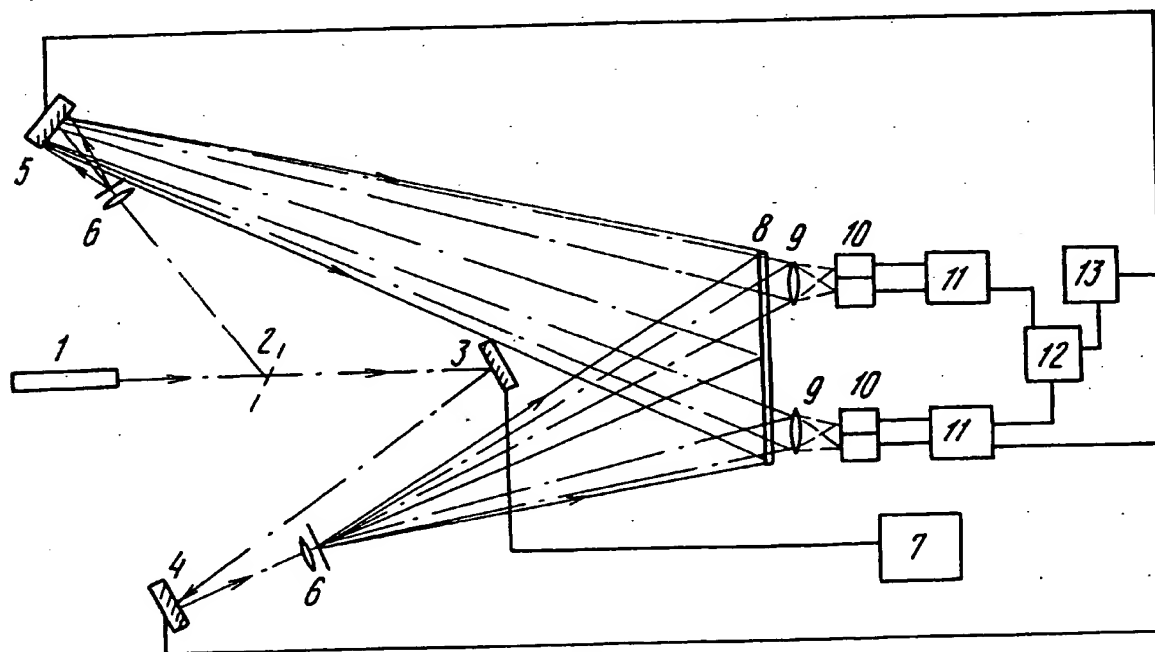
(73) Научно-исследовательский институт комплексных испытаний оптико-электронных приборов и систем ВНИИ "ГОИ им. С. И. Вавилова"

(56) Авторское свидетельство СССР N 1693587, кл. G 03 H 1/04, 1991.

**(54) УСТРОЙСТВО ДЛЯ ЗАПИСИ КРУПНОГА-  
БАРИТНЫХ ГОЛОГРАММ**

(57) Использование: голография. Сущность изобретения: устройство для записи крупногабаритных голограмм включает источник когерентного излу-

чения, голографический интерферометр, опорное и объектное плечи которого оптически связаны с нанесенной на фотопластинку регистрирующей средой. В устройстве блок фоторегистрации и формирователь сигналов управления выполнены в виде двух каналов, в каждом канале между блоком фоторегистрации и регистрирующей средой установлена линза, причем линза первого канала установлена за первой областью регистрирующей среды, линза второго канала — за второй областью, не пересекающейся с первой. Дополнительно установлены компаратор, электронный ключ, фазосдвигающее устройство. В формирователе сигнала управления первого и второго канала дополнительно установлено по одному синхронному усилителю. 1 з. п. ф-лы, 3 ил.



**RU 2082994 C1**

Изобретение относится к голографии, в частности к устройствам для получения голограмм и может быть использовано для создания голографических оптических элементов (ГОЭ) большого формата (голографических дифракционных решеток, зонных пластин, светоделителей, корректоров аберраций и других), применяемых в прецизионных оптических приборах [1, 2] а также для записи крупногабаритных изобразительных голограмм. При создании таких голограмм имеются две проблемы, ограничивающие получение больших габаритов и высокой точности параметров: 1 необходимость формирования достаточно мощных бесшумовых когерентных пучков, обеспечивающих высокую (10–100 Дж) энергию засветки фотослоя при высокой воспроизводимости их пространственных и энергетических параметров; 2 необходимость получения заданного интерференционного поля (ИП) на фотопластинах большого диаметра ( $> 0,2$  м) с высокой стабильностью его положения в пространстве (порядка 0,01–0,1 мкм) в течение времени экспонирования (десять минут). Использование импульсных лазеров позволяет решить последнюю проблему, однако возникают значительные технические трудности при реализации первой. Поэтому наибольшее распространение получили методы записи крупногабаритных голограмм с помощью непрерывных лазеров с применением методов активной стабилизации разности фаз регистрирующих волн (или относительной фазы ИП) на фотопластинке. Активная стабилизация ИП основана на автоматической компенсации случайного фазового возмущения с помощью цепи отрицательной обратной связи, состоящей из электронного усилителя и фазосдвигающего элемента, установленного в опорном плече голографического интерферометра [3]. Сигналом отработки обычно служат величины, косвенно связанные со смещением ИП, формируемые с помощью дополнительного интерферометра [3] проекционного микроскопа [3] вспомогательного ГОЭ [4]. Однако в случае записи крупногабаритных голограмм применение таких методов оказывается малоприменимым, поскольку вспомогательные элементы имеют большие габариты и вносят значительный собственный фазовый шум, что приводит к формированию ложных корректирующих сигналов.

Известно устройство для записи крупногабаритных голограмм, в котором для формирования сигнала управления применен метод записи считывания экспонирующими пучками метод самодифракции [5]. Устройство состоит из источника когерентного излучения, голографического интерферометра, в одном плече которого формируется объективный, а в другом опорный пучки, установленного в опорном плече фазосдвигающего устройства, соединенного с генератором синусоидальных сигналов, фотопластины с регистрирующей средой, обладающей свойством самодифракции под воздействием излучения, установленного за средой блока фоторегистрации,

соединенного с формирователем сигнала управления, выход которого соединен с другим фазосдвигающим устройством, установленном в объектном плече интерферометра.

В этом устройстве роль вспомогательной голограммы выполняет возникающая в момент записи в фазовой регистрирующей среде первичная голографическая структура (или, так называемое, скрытое изображение), на которой пучки дефрагируют вследствие явления самодифракции. В результате взаимодействия опорного и объектного пучков друг с другом и с записываемым ими скрытым изображением, интенсивность света за регистрирующей средой, принимаемого блоком фоторегистрации, зависит от фазовых соотношений между опорным и объектным пучками. Случайное изменение разности фаз опорного и объектного пучков (фазовая помеха) приводит к изменению интенсивности света, принимаемого фотоприемниками блока фоторегистрации, и следовательно, к изменению электрического сигнала на его выходе. Для повышения чувствительности определения фазовой помехи применяется принудительная, малая по величине модуляция разности фаз  $\Phi$  опорного и объектного пучков и регистрация сигнала на частоте модуляции. Принудительная модуляция величины  $F$  осуществляется с помощью фазосдвигающего устройства, управляемого генератором синусоидальных сигналов. Регистрация и усиление электрического сигнала на частоте модуляции и формирование сигнала отработки производится в формирователе сигнала управления. В состав формирователя входит резонансный усилитель и синхронный детектор, сигнал с которого подается на фазосдвигающий элемент для компенсации исходной фазовой помехи. Недостатком устройства является узкая область применения, ограниченная фазовыми регистрирующими средами и низкая стабильность интерференционного поля, обусловленная малым уровнем сигнала самодифракции по сравнению с уровнем шума.

Наиболее близким техническим решением, выбранным нами в качестве прототипа, является устройство для записи крупногабаритных голограмм [6] состоящее из источника когерентного излучения, голографического интерферометра, опорное и объектное плечи которого оптически связаны с нанесенной на фотопластинку регистрирующей средой, обладающей свойством самодифракции под воздействием излучения, установленного за средой блока фоторегистрации, соединенного с формирователем сигнала управления, два фазосдвигающих устройства, одно из которых соединено с выходом генератора синусоидальных сигналов, а другое с формирователем управляющих сигналов, выполненным в виде последовательно соединенных алгебраического сумматора и синхронного усилителя.

В этом устройстве стабилизация положения интерференционного поля относительно регист-

рируемой первичной голографической структуры (ПГС) становится возможной не только для фазовой, но для амплитудной и амплитудно-фазовой регистрирующей среды. Использование двух фотоприемников в блоке фоторегистрации и алгебраического сумматора в блоке управления позволило повысить чувствительность системы и осуществлять запись голограмм в любых регистрирующих средах.

Недостатками этого устройства является его сложность, отсутствие прямого контроля качества записываемой голограммы и низкое качество фазовой коррекции. Низкое качество коррекции обусловлено малой величиной отношения величины управляющего сигнала к шуму, что приводит к низкому качеству голограммы. Повышенная сложность рассматриваемого устройства связаны с тем, что в случае записи крупногабаритных голограмм фазовая помеха  $dF$  различна в разных точках фотопластины, поэтому при отсутствии контроля качества записи возникает необходимость использования многоэлементных крупногабаритных матриц фотоприемников, сопряженных со сложными многоэлементными фазовыми корректорами. Уменьшение величины сигнала управления (сигнала самодифракции) связано с уменьшением плотности мощности регистрируемых пучков по мере роста габаритов фотопластины при фиксированной мощности лазера. Увеличение шума в таком устройстве обусловлено появлением дополнительных фазовых помех, связанных с взаимовлиянием элементов многоэлементного фазового корректора.

Технический эффект от предложенного нами устройства заключается в повышении качества крупногабаритных голограмм. Устройство достаточно просто в изготовлении, не требует использования многоэлементных фазовых корректоров и фотодиодных матриц, позволяет проводить запись высококачественных голограмм с эффективным диаметром до 1,5 м с использованием серийных лазеров непрерывного действия в условиях стандартной голографической лаборатории.

Технический эффект достигается тем, что устройство выполнено в виде интерферометра для записи голограмм, совмещенного с системой слежения за качеством записи и системой фазовой коррекции, в которой компенсация фазовой помехи производится двумя простыми одноэлементными фазосдвигающими устройствами, одно из которых устраняет неоднородную по полю голограммы составляющую фазовой помехи.

При исследовании нами показано, что сигнал самодифракции на выходе алгебраического сумматора, измеренный на частоте модуляции  $W$  (либо на частоте  $2\Omega$ ), может быть использован для контроля качества амплитудно-фазовой голографической структуры в процессе экспонирования при доминировании в ней фазовой (либо амплитудной) составляющих. Проведенные измерения качества голографической структуры в реальном

масштабе времени в разных точках (областях) горизонтально и вертикально установленной крупногабаритной фотопластины показало, что для получения высококачественных голограмм достаточно использовать всего лишь две области регистрирующей среды, необходимых для считывания сигналов самодифракции. Исследования зависимости величины этих сигналов от параметров среды и электронной схемы позволили создать простое устройство с техническими характеристиками, обеспечивающими достижение указанного технического эффекта.

На фиг. 1 показана блок-схема предлагаемого устройства. Устройство для записи крупногабаритных голограмм содержит источник 1 когерентного излучения, полупрозрачное зеркало 2, "глухие" зеркала 3, 4 и 5, одно из которых 3 укреплено на магнитострикционном элементе и образует первое фазосдвигающее устройство, другие 4 и 5 укреплены на пьезоэлементах и образуют второе и третье фазосдвигающие устройства, соответственно линзы 6, формирующие опорный и объектный пучки нужной конфигурации, генератор 7 синусоидальных сигналов, регистрирующая среда 8, линзы 9, фокусирующие излучение на блок 10 фоторегистрации, формирователь 11 сигналов управления, компаратор 12, электронный ключ 13.

На фиг. 2 приведена зависимость сигнала контроля от времени экспонирования на выходе дополнительного синхронного усилителя, установленного в первом (сплошные кривые) и во втором (пунктирные кривые) канале при выключенном устройстве (кривые 1 и 1'), при одноканальном (кривые 2 и 2') и двухканальном (кривые 3 и 3') режиме работы устройства.

На фиг. 3 приведен пример конкретного выполнения устройства для записи крупногабаритных голограмм на вертикально установленной фотопластине. Величина площади областей 1 и 11 регистрирующей среды регулируется с помощью диафрагм 14, фотоприемники 15 составляют блок фоторегистрации, сумматоры 16 и синхронные усилители 17, 18, 19 и 20 составляют формирователь сигналов управления, два выхода которого подключены к компаратору 12, выход которого соединен с электронным ключом 13.

Устройство работает следующим образом.

Пучок света от источника когерентного излучения 1 делится полупрозрачным зеркалом 2 на два пучка, один из которых (опорный) с помощью линзы 6 и фазосдвигающего устройства 5 направляется на фотопластину 8. Другой пучок (объектный) проходит фазосдвигающее устройство 3, линзу 6, фазосдвигающее устройство 4 и также направляется на фотопластину, на которой имеется слой голографической регистрирующей среды. Возникающее при интерференции опорного и объектного пучков интерференционное поле (ИП) регистрируется на фотопластине в виде первичной голографической структуры. В результате самодифракции опорный и объектный пучки, прошедшие регистрирующую

среду, содержат информацию как о природе ПГС, так и о ее случайных смещениях относительно ИП. Для считывания этой информации за фотопластиной установлены две линзы 9, фокусирующие свет на фотоприемники двухканального блока фоторегистрации 10, выход которого соединен с двухканальным формирователем сигналов управления 11, состоящим из алгебраических сумматоров, соединенных с синхронными усилителями. На выходе блока фоторегистрации каждого канала фототок имеет гармонические составляющие на частотах 0,  $\Omega$ ,  $2\Omega$  и т. д. на выходе алгебраического сумматора в каждом канале в зависимости от типа регистрирующей среды формируется суммарный  $U^+$  либо разностный  $U^-$  сигнал на указанных гармониках. Известно, что при доминировании амплитудной (фазовой) составляющей амплитудно-фазовой ПГС для формирования сигнала управления фазовым корректором используется сигнал  $U_{\Omega^+}$  ( $U_{2\Omega^-}$ ). Поэтому если применяется регистрирующая среда с преимущественно амплитудной ПГС, то в каждом канале один из синхронных усилителей настраивается на частоту  $\Omega$  и на его выходе снимается сигнал управления  $U_{\Omega^+}$ , пропорциональный фазовой помехе  $dF$ . В случае преимущественно фазовой ПГС эти усилители настраиваются на частоту  $2\Omega$  и на их выходе снимается сигнал  $U_{2\Omega^-}$ , также пропорциональный  $dF$ .

Проведенные нами исследования показали, что в случае преимущественно амплитудной ПГС величина  $(U_{2\Omega^+})^2$  пропорциональна дифракционной эффективности  $h$ , которая является мерой качества голограммы. В случае преимущественно фазовой голограммы такой величиной, пропорциональной  $h$ , является  $(U_{\Omega^-})^2$ .

Измерение указанных величин позволило, во-первых, проводить оперативный контроль качества записи в каждой точке фотопластины, определяя тем самым распределение  $dF$  по полю голограммы и выявляя минимальное число каналов, достаточное для эффективной компенсации  $dF$ , во-вторых, активно влиять на процесс фазовой коррекции именно в тех областях фотопластины, где величина  $h$  меньше допустимой. Для этого в каждом канале установлен дополнительно синхронный усилитель, настроенный на частоту  $2\Omega$ , если ПГС преимущественно амплитудная, либо на частоту  $\Omega$ , если ПГС преимущественно фазовая. Сигналы контроля с этих усилителей подаются на компаратор 12, в котором происходит сравнение сигнала контроля относительно опорной (допустимой) величины. Поскольку величины сигналов контроля монотонно растут в течение времени экспонирования как

функция  $\sqrt{\eta(t)}$ , то в качестве опорного используется сигнал контроля основного канала, сопряженного с областью регистрирующей среды, в которой качество ПГС не хуже допустимого  $\eta \geq \eta_0$ , где

$\eta_0$  — требуемое значение дифракционной эффективности ПГС). Если сигнал контроля второго канала меньше, чем величина сигнала контроля первого канала, то на выходе компаратора вырабатывается сигнал, который, поступая на управляющий вход электронного ключа 13, открывает его. Сигнал управления со второго фазового усилителя основного канала поступает на фазосдвигающее устройство 4, которое компенсирует однородно распределенную по полю фотопластины фазовую помеху. Сигнал управления со второго фазового усилителя второго канала поступает на второй вход электронного ключа. В случае, когда ключ открыт, сигнал с его выхода поступает на фазосдвигающее устройство 5, которое компенсирует неоднородно распределенную помеху по полю фотопластины. Таким образом, с помощью двухканального фазового корректора, сопряженного с двумя областями регистрирующей среды, можно скомпенсировать помеху и записать качественную голограмму. Выбор числа требуемых областей, их размер и местоположение на пластине определялся исходя из теоретического анализа и измерения сигналов контроля.

В случае записи голограммы интенсивность ИП, регистрируемая на фотопластине, расположенной в плоскости  $X_2 Y_2$ , определяется выражением:

$$I = |R_0|^2 + |S_0|^2 + 2S_0 R_0 \cos[\Phi(x_2, y_2, t) + \delta\Phi(x_2, y_2, t)], \quad (1)$$

где  $R_0$  и  $S_0$  — амплитуда опорной  $R$  и объектной  $S$  волн;

$\Phi(x_2, y_2, t)$  — заданная фаза ИП в точке  $X_2, Y_2$  относительно фазы в некоторой точке, принятой за начало отсчета;

$dF(x_2, y_2, t)$  — отклонение фазы ИП в точке  $X_2, Y_2$  от  $F$ .

В случае использования в системе активной стабилизации ИП метода измерения фазовой помехи с применением вспомогательной гармонической модуляцией фазы опорной волны на частоте  $\Omega$  и выделения сигнала обработки методом синхронного детектирования на этой частоте, величину  $dF$  можно представить в виде

$$dF(x_2, y_2, t) = \varphi_N(x_2, y_2, t) + \varphi_C(x_2, y_2, t) + \varphi_d \sin \Omega t, \quad (2)$$

где  $\varphi_N$  — фазовая помеха ИП, вызванная главным образом трудноконтролируемыми механическими и тепловыми воздействиями на оптическую систему;

$\varphi_c$  фазовый сдвиг ИП, обусловленный движением фазового корректора;

$\varphi_d$  амплитуда вспомогательной фазовой модуляции ИП.

Амплитуда  $\varphi_d$  должна быть много меньше величины  $\varphi_n$ . Допуск на величину  $\delta\Phi$  в процессе экспонирования определяется допустимым снижением дифракционной эффективности  $h$  и/или отношения сигнала к шуму ГОЭ по сравнению с величинами, достижимыми (при прочих равных условиях) в идеальной схеме записи. Если за критерий качества голограммы принять снижение  $h$  на 10% то допустимое значение  $dF$  для возмущений типа гармонических осцилляций составит величину  $p/5$ .

При записи небольших голограмм зависимость  $\varphi_n$  от  $X_2, Y_2$  весьма слаба, поэтому для стабилизации ИП отказывается пригодной простейшая активная система с корректором поршневого типа, для которой  $\varphi_c$  также не зависит от  $X_2, Y_2$ . В случае голограмм большого диаметра типична ситуация, когда величина  $\varphi_n$ , а следовательно,  $\delta\Phi$  различна в разных точках фотопластины.

$$\delta\Phi = \int_1 \frac{\partial}{\partial \xi_1} \left[ k \left[ \frac{x_2^2 + y_2^2}{2} \left( \frac{1}{z_2 - z_1} - \frac{1}{z_2 - z_R} \right) - x_2 \left( \frac{x_1}{z_2 - z_1} - \frac{x_R}{z_2 - z_R} \right) - y_2 \left( \frac{y_1}{z_2 - z_1} - \frac{y_R}{z_2 - z_R} \right) \right] \right] d\xi_1 \quad (3)$$

где  $k=2\pi/\lambda$  ( $\lambda$  — длина волны, используемая при записи). Из выражения (3) видно, что изменение величины  $F$  может быть вызвано смещением источников света и фотопластины вдоль любого направления, однако для типичных условий голографической записи указанные смещения вдоль некоторых направлений настолько малы, что зависимостью  $dF$  от них можно пренебречь. В частности нами показано, что при установке на голографической плите фотопластины и формирующей оптики в вертикальном положении можно не учитывать смещение источников света вдоль вертикальной оси  $\partial u_R \approx \partial u_1 \approx 0$ , а также поперечные смещения фотопластины  $\partial u_2 \approx \partial x_2 \approx 0$ .

Проведенные измерения качества записываемой ПГС в реальном масштабе времени показали, что в условиях голографической лаборатории наибольший вклад в формирование неоднородной (двумерной) по полю голограммы составляющей фазовой помехи вносят консольные (при вертикальной установке фотопластины) и мембранные (при горизонтальной установке фотопластины) ко-

Основными причинами, которые приводят к появлению фазовой помехи, зависящей от координат  $X_2, Y_2$ , являются флуктуации показателя преломления воздуха  $n_a$ , смещения источников объектной и опорной волн, а также консольные и мембранные колебания фотопластины. Флуктуации  $n_a$  обусловлены наличием градиента температуры  $\text{grad } T$  в помещении и при  $\text{grad } T < 0,01$  град/м ими можно пренебречь, что достигается с помощью установки теплоизолирующих ограждений и выноса источников тепловыделений за пределы голографической плиты. Рассмотрим указанную зависимость для достаточно распространенного случая записи голограммы двумя расходящимися сферическими опорной  $R$  и объектной  $S$  волнами, сформированными источниками света, имеющими координаты  $\{X_R, Y_R, Z_R\}$  и  $\{X_1, Y_1, Z_1\}$  соответственно. Фотопластина расположена в плоскости  $(X_2, Y_2)$ , которая отстоит от начала координат на расстоянии  $d_1 = z_2$ . Выражение для величины  $dF$  в произвольной точке с координатами  $\{X_2, Y_2, Z_2\}$  с учетом  $n_a = 1$  в параксиальном приближении примет вид

лебания. Это позволило для считывания сигнала самодифракции и формирования корректирующего сигнала использовать лишь две области (I и II) регистрирующей среды, сопряженные с двумя каналами блока фоторегистрации. При горизонтальной установке второй областью (II) является участок в центре фотопластины, при вертикальной установке участок, примыкающий к верхней грани фотопластины. При заданной плотности мощности излучения на фотопластине амплитуда сигнала управления в I и II каналах пропорциональны сопряженным с данным каналом площадям регистрирующей среды  $S_1$  и  $S_2$  соответственно. Минимальные величины площадей определяются из условий

$$\delta\Phi(t) < k_1 \cdot U_1(t) S_1 \quad (4),$$

$$\delta\Phi(t) < k_2 \cdot U_2(t) S_2 \quad (5)$$

где  $k_1$  и  $k_2$  коэффициенты преобразования электрического сигнала в величину фазового смещения фазосдвигающего устройства в I и II канале соответственно;

$U_1$  и  $U_2$  амплитуды сигналов управления, полученные при единичной площади регистрирующей среды в I и II канале, соответственно.

Условия (4) и (5) являются необходимыми, но недостаточными для записи высококачественных голограмм в случае неоднородной по полю фотопластины величины  $\delta\Phi$ , поскольку выполнение этих условий в момент  $t = t_0$  за счет увеличения  $S_1$  и  $S_2$  может привести к ухудшению фазовой компенсации в последующие моменты времени. Это происходит вследствие неадекватности локального отклика фазового корректора величине фазовой помехи в произвольной точке фотопластины при больших значениях  $S_1$  и  $S_2$ . Поэтому кроме естественного ограничения сверху на величины  $S_1 \leq S/2$  и  $S_2 \leq S/2$  (где  $S$  площадь голограммы), для них должно выполняться условие

$$\delta\Phi_i + \sqrt{\frac{4S_i}{\pi}} \cdot \text{grad}_r \delta\Phi_i \leq \delta\Phi_{\text{доп}} \quad (6),$$

где  $i = 1, 2$ ;

$\delta\Phi_{\text{доп}}$  допустимое среднеквадратичное значение фазовой помехи, усредненное за время экспонирования;

$\text{grad}_1$  градиент изменения величины фазовой помехи  $\delta\Phi_1$  в области фотопластины с площадью  $S_1$  вдоль направления  $\vec{r}$  с наибольшим изменением величины  $\delta\Phi$ .

Поскольку величина  $dF_{\text{доп}}$  сложным образом связана с задаваемой величиной  $\eta_{\text{доп}}$ , то максимальное значение  $S_1$  определяется эмпирически, исходя из измеряемой допустимой величины сигнала контроля.

В частном случае вертикально установленной фотопластины область I, примыкающая с нижней частью фотопластины, сопряжена с первым (основным) каналом, один выход которого подключен к фазовому корректору поршневого типа. Этот фазовый корректор компенсирует однородную по полю фотопластины составляющую фазовой помехи. Поскольку в нижней части фотопластины неоднородная составляющая величины  $\delta\Phi$  мала, то в области I происходит компенсация  $dF$ , причем площадь  $S_1$  определяется условиями (4) и (6). В то же время в области II, сопряженной со вторым (дополнительным) каналом имеет место чисто неоднородная по полю составляющая  $dF$ , которая компенсируется фазосдвигающим устройством, осуществляющим поворот волнового фронта относительно горизонтальной оси, которая расположена так, чтобы при работе фазосдвигающего

устройства 5 в области 1 не возникала однородная составляющая фазовой помехи. Следует отметить, что в случае, когда фазовая помеха проявляется в виде мембранных колебаний фотопластины, в качестве простого фазосдвигающего устройства во втором канале может быть использовано гибкое зеркало с одноэлементным осесимметричным пьезоэлектрическим приводом.

Для исследования условий формирования сигналов управления и контроля на фотопластине с эффективным диаметром 0,7 м были выделены две области диаметром 100 мм путем установки позади нее экранирующих диафрагм. Первая из областей (I) расположена в нижней части, а другая (II) в верхней части пластины (фиг. 2). В качестве регистрирующей среды использовались пленки халькогенидного стеклообразного полупроводника (ХСП) и слоев бихромированной желатины (БХЖ). На этом же рисунке представлены зарегистрированные на запоминающем осциллографе временные зависимости сигнала контроля, полученные при отключенном устройстве для записи крупногабаритных голограмм (кривые 1 и 1'), при включенном первом (кривые 2 и 2') и втором (кривые 3 и 3') каналах. Видно, что при двухканальном режиме фазовая коррекция имеет место в обеих областях, в то время как при одноканальном режиме работы в верхней части фотопластины происходит лишь частичная коррекция фазовой помехи ИП. При отключенной системе фазовой коррекции нам не удалось получить качественных голограмм.

В предлагаемом изобретении новым является то, что в устройстве, содержащем источник когерентного излучения, голографический интерферометр, опорное и объектное плечи которого оптически связаны с нанесенной на фотопластинку регистрирующей средой, обладающей свойством самодифракции под воздействием излучения, установленный за средой блок фоторегистрации, соединенный с формирователем сигналов управления, фазосдвигающие устройства, первое из которых соединено с выходом генератора синусоидальных сигналов, а второе с выходом формирователя, блок фоторегистрации и формирователь сигналов управления выполнены в виде двух каналов, в каждом канале между блоком фоторегистрации и регистрирующей средой установлена линза, причем линза первого канала установлена за первой областью регистрирующей среды, линза второго канала за второй областью, не пересекающейся с первой, дополнительно установлены компаратор, электронный ключ, фазосдвигающее устройство, в формирователе сигнала управления первого и второго канала дополнительно установлено по одному синхронному усилителю, выход первого из них соединен с опорным входом компаратора, выход второго с другим входом компаратора, выход которого соединен с первым входом электронного ключа, второй выход второго канала соединен с вторым входом ключа, выход которого соединен с третьим фазосдвигающим устройством.



На фиг. 3 приведен пример конкретного исполнения устройств. Устройство собрано на стандартной голографической плите типа СИН-1. Пучок аргонового лазера 1 (ЛГН-512), работающего на длине волны 488 нм и имеющего среднюю мощность 1 Вт, расщепляется на два светоделителем 2. Далее опорный пучок проходит через микрообъектив 6, формирующий расходящийся волновой фронт требуемой конфигурации и, отражаясь от фазосдвигающего устройства 5 поворотного типа, попадает на вертикально установленную фотопластину 8. Объектный пучок, отражаясь от фазосдвигающего устройства 3, подключенного к генератору синусоидальных сигналов 7, проходит через микрообъектив 6, фазосдвигающее устройство 4 поршневого типа и интерферирует на фотопластине с опорным пучком. Фазосдвигающие устройства 4 и 5 выполнены в виде зеркал, укрепленных на пьезоэлектрической подложке КП-1. В качестве фазосдвигающего устройства 3 использовалось зеркало на подложке из магнитоотрицательного материала. В качестве регистрирующих сред применялись слои БХЖ и пленки ХСП. За регистрирующей средой установлены диафрагмы 14, формирующие размер областей I и II регистрирующей среды, сопряженные с первым и вторым каналами фотоприемного устройства соответственно. За диафрагмами установлены линзы 9, фокусирующие лучи опорного и объектного пучков (на фиг. 3 выделено пунктиром) на фотоприемники 15, которые составляют блок фоторегистрации. Применялись фотоприемники типа ФДК-142. С выхода фотоприемников сигналы поступают на алгебраические сумматоры 16, где происходит сложение либо вычитание поступающих сигналов в зависимости от типа используемой регистрирующей среды. В каждом канале с выхода сумматора сигнал поступает на синхронные усилители, один из которых настроен на частоту  $\omega = 55$  кГц, а другой  $2\omega$ . Сумматор и усилители 19 и 20, а также сумматор и усилители 17 и 18 составляют первый и второй каналы формирователя сигналов управления, соответственно. С выхода усилителя 19 контрольный сигнал подается на опорный вход компаратора 12. Этот сигнал сравнивается с сигналом, поступающим с усилителя 18 второго канала. В случае, когда величина сигнала во втором канале меньше, чем в опорном (первом), то сигнал с выхода компаратора открывает ключ 13. В этом случае управляющий сигнал с выхода усилителя 17 проходит электронный ключ и с его выхода поступает на фазосдвигающее устройство 5. Управляющий сигнал с синхронного усилителя 20 подается непосредственно на фазосдвигающее устройство 4. При включении устройства для записи голограмм коррекция положения интерференционного поля происходит с помощью первого канала, сопряженного с областью I регистрирующей среды, примыкающей к нижней грани фотопластины, где имеет место лишь однородная по полю голограммы фазовая погрешность. С помощью второго канала, сопряженного с

II областью регистрирующей среды, примыкающей к верхней грани фотопластины, происходит компенсация неоднородной по полю голограммы фазовой погрешности, обусловленной, главным образом, консольными колебаниями фотопластины. При этом осуществляется поворот отражающей плоскости фазосдвигающего устройства относительно горизонтальной оси, проходящей через точку пересечения нижнего апертурного луча с этой плоскостью.

Для получения предварительной информации о микросмещениях фотопластины были проведены интерферометрические исследования ее вибраций. Вспомогательное ИП с низкой пространственной частотой формировалось при интерференции отраженного от фотопластины опорного и отраженного от дополнительного зеркала объектного пучков. Эксперименты показали, что смещения вспомогательного ИП в разных точках пластины диаметром 230 мм в пределах погрешности измерений  $1/8$  имеют одинаковую амплитуду. В то же время подобные исследования колебаний и дрейфов пластины  $0,5 \times 0,5$  м (эффективный диаметр 0,7 м) показало, что имеют место заметные периодические микросмещения верхней части пластины относительно нижней ее части. Поэтому при записи объемных пропускающих ГОЗ диаметром 230 мм на слоях БХЖ система фазовой коррекции использовалась в одноканальном режиме. При регистрации ГОЗ на пластине  $0,5 \times 0,5$  м фазовая коррекция осуществлялась в двухканальном режиме. Применение предложенного устройства позволило получить объемные ГОЗ на БХЖ диаметром 230 мм с дифракционной эффективностью  $\eta = 85\%$  (при времени экспонирования 15 мин) и рельефно-фазовые ГОЗ на ХСП на фотопластине с эффективным диаметром 0,7 м с дифракционной эффективностью 60% (при времени экспонирования 50 мин). Для проявленных объемных ГОЗ измерение  $\eta$  проводилось в схеме его записи, а для РФ ГОЗ в автоколлимационной схеме с использованием ТЭ-поляризованного излучения с длиной волны 633 нм.

Таким образом, благодаря новому конструктивному решению, основанному на считывании качества регистрируемой голограммы в реальном масштабе времени и на исследовании зависимостей распределения фазовых погрешностей на установках для записи голограмм, предлагаемое простое устройство позволяет существенно повысить выход годных образцов крупногабаритных голограмм и повысить их качество.

#### Литература:

1. Захаров А. Л. Использование голограммно-линзовых объективов большого диаметра для траекторных измерений. Опико-механическая промышленность, 1991, № 8, с. 47-51.
2. Ган М. А. Потемин И. С. Принципы построения контрольного канала телескопа на основе голограммных оптических элементов. Опико-механическая промышленность, 1990, № 10, с. 20-23.

3. Newmann D. B. Rose H. W. Improvement of Recorded Holographics Fringes by Feedback Control, Applied optics, vol. 6, n. 6, p. 1097, 1967

4. MacQuigg D. R. Hologram Fringe stabilization Method, Applied Optics, vol. 16, n. 2, p. 291, 1977.

Барменков Ю. О. и др. Голографическая

фильтрация низкочастотных помех в выходном канале измерительного интерферометра. Оптика и спектроскопия, 1988, т. 64, вып. 6, с. 1339.

6. Тютчев М. В. Каляшов Е. В. Павлов А. П. Авторское свидетельство SU N 1693587 AI G 03 H 1/04, G 02 13/32, БИ, 1991, N 44.

### Формула изобретения

1. Устройство для записи крупногабаритных голограмм, включающее источник когерентного излучения, голографический интерферометр, опорное и объектное плечи которого оптически связаны с нанесенной на фотопластинку регистрирующей средой, обладающей свойством самодифракции под воздействием излучения, установленный за средой блок фоторегистрации, соединенный с формирователем сигналов управления, фазосдвигающие устройства, первое из которых соединено с выходом генератора синусоидальных сигналов, а второе с выходом формирователя, отличающееся тем, что блок фоторегистрации и формирователь сигналов управления выполнены в виде двух каналов, в каждом канале между блоком фоторегистрации и регистрирующей средой установлена линза, причем линза первого канала установлена за первой областью регистрирующей среды, линза второго канала за второй областью, не пересекающейся с первой, дополнительно установлены компаратор, электронный ключ, фазосдвигающее устройство, в формиро-

вателе сигнала управления первого и второго каналов дополнительно установлено по одному синхронному усилителю, выход первого из них соединен с опорным входом компаратора, выход второго с другим входом компаратора, выход которого соединен с первым входом электронного ключа, второй выход второго канала соединен с вторым входом ключа, выход которого соединен с третьим фазосдвигающим устройством.

2. Устройство по п. 1, отличающееся тем, что первая область регистрирующей среды примыкает к нижней границе вертикально установленной фотопластины, вторая область к верхней границе фотопластины, первое фазосдвигающее устройство выполнено в виде зеркала, осуществляющего возвратно-поступательное движение вдоль нормали к его отражающей поверхности, третье фазосдвигающее устройство есть плоское зеркало, осуществляющее повороты своей отражающей поверхности относительно горизонтальной оси, лежащей на этой поверхности либо ее продолжении.

## Чертежи

